

(12) МЕЖДУНАРОДНАЯ ЗАЯВКА, ОПУБЛИКОВАННАЯ В СООТВЕТСТВИИ С
ДОГОВОРом О ПАТЕНТНОЙ КООПЕРАЦИИ (РСТ)

(19) ВСЕМИРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ
Международное бюро



(43) Дата международной публикации:
14 июня 2001 (14.06.2001)

РСТ

(10) Номер международной публикации:
WO 01/42443 A1

(51) Международная патентная классификация⁷: C12N
15/00, 15/63 // A01N 48/00

[RU/RU]; 117418 Москва, ул. Цюрупы, д. 7, корп.
2, кв. 55 (RU) [CHURIKOV, Nikolai Andreevich,
Moscow (RU)].

(21) Номер международной заявки: РСТ/RU00/00504

(22) Дата международной подачи:
7 декабря 2000 (07.12.2000)

(74) Агент: **ВЫСОЦКАЯ** Нина Николаевна, ООО
«СОЮЗПАТЕНТ»; 103735 Москва, ул. Ильинка,
д. 5/2 (RU) [VYSOTSKAYA, Nina Nikolaevna,
Moscow (RU)].

(25) Язык подачи: русский

(81) Указанные государства (национально): JP, US.

(26) Язык публикации: русский

(30) Данные о приоритете:
99125827 9 декабря 1999 (09.12.1999) RU

(84) Указанные государства (регионально): европей-
ский патент (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR,
GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

(71) Заявитель (для всех указанных государств, кроме
(US): ИНСТИТУТ МОЛЕКУЛЯРНОЙ БИОЛО-
ГИИ ИМ. В.А.ЭНГЕЛЬГАРДТА РОССИЙСКОЙ
АКАДЕМИИ НАУК [RU/RU]; 117984 Москва, ул.
Вавилова, д. 32 (RU) [INSTITUT MOLEKULAR-
NOI BIOLOGII IM. V.A ENGELGARDTA ROS-
SIJSKOI AKADEMII NAUK, Moscow (RU)].

Опубликована
С отчётом о международном поиске.

(71) Заявитель и
(72) Изобретатель: **ЧУРИКОВ** Николай Андреевич

В отношении двухбуквенных кодов, кодов языков и дру-
гих сокращений см. «Пояснения к кодам и сокращениям»,
публикуемые в начале каждого очередного выпуска Бюл-
летеня РСТ.

(54) Title: METHOD FOR MODIFYING GENETIC CHARACTERISTICS OF AN ORGANISM

(54) Название изобретения: СПОСОБ ИЗМЕНЕНИЯ ГЕНЕТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОРГАНИЗМА

(57) Abstract: The invention relates to the field of molecular biology, molecular genetics, and biotechnology and can be used for purposes of gene therapy as well as in agriculture, industrial biotechnology for gene specific silencing of genes whose expression promotes the development of different diseases and infringes upon a process for producing a required product. The invention proposes a method for modifying the genetic characteristics of organisms by means of RNA interference resulting in the gene-specific silencing of the selected gene with the aid of RNA molecules. The molecules are synthesised *in vitro* using the RNA molecules which are complementary in a parallel direction with (pcRNA) mRNA of the selected gene which are synthesised *in vivo or in vitro* on an artificial sequences of DNA which possesses a mirror-symmetrical sequence of nucleotides in respect to the sequence of the gene nucleotides. The invention provides a general approach to the modification of the genetic characteristics of an organism based on the biological characteristics of mirror-inverses of the nucleotide sequences being achieved through RNA-interference which brings about gene-specific silencing.

[Продолжение на след. странице]



WO 01/42443 A1



(57) Реферат:

Изобретение относится к области молекулярной биологии, молекулярной генетике и биотехнологии и может быть использовано для целей генотерапии в медицине, а также в сельском хозяйстве и в промышленной биотехнологии для ген-специфического сайленсинга тех генов, экспрессия которых способствует развитию тех или иных заболеваний или нарушает процесс наработки необходимого продукта.

Предложен способ изменения генетических свойств организмов путем РНК-интерференции, приводящей к ген-специфическому сайленсингу выбранного гена с помощью молекул РНК, синтезированных *in vitro*, при этом используют молекулы РНК, комплементарные в параллельном направлении (пкРНК) мРНК выбранного гена, которые синтезируют *in vivo* или *in vitro* на искусственной последовательности ДНК, имеющей зеркально-симметричную последовательность нуклеотидов по отношению к последовательности нуклеотидов гена.

Изобретением предложен общий подход к изменению генетических свойств организма, основанный на биологических свойствах зеркальных инверсий нуклеотидных последовательностей и реализующийся в РНК-интерференции, приводящей к ген-специфическому сайленсингу.

Способ изменения генетических свойств организма

Область техники

Изобретение относится к области молекулярной биологии, молекулярной генетике и биотехнологии и может быть использовано для целей генотерапии в медицине, а также в сельском хозяйстве и в промышленной биотехнологии для ген-специфического сайленсинга тех генов, экспрессия которых способствует развитию тех или иных заболеваний или нарушает процесс наработки необходимого продукта.

Уровень техники

Известны разные способы изменения генетических свойств организма. Одни из них предполагают повреждение самого гена. К их числу относится так называемый “нокаут” генов. Эти подходы предполагают внесение повреждений (мутаций) в выбранном гене в клетках зародышевого пути или в стволовых клетках и поэтому далеко не всегда могут использоваться для изменения свойств развившегося организма [L.V. Varga, S. Toth, I. Novak, A. Falus, Immunol. Lett., 1999, vol. 69, p. 217; J. Osada, N. Maeda, Methods Mol. Biol., 1998, vol.110, p. 79].

В последние годы вызывает повышенный интерес другой подход к изменению генетических свойств организма - использование РНК-интерференции, приводящей к ген-специфическому сайленсингу, при котором ген не повреждается, а изменяется его регуляция [M.K. Montgomery, A. Fire, Trends in Genetics, 1998, vol.14, p. 255; P. Sharp, Genes & Development, 1999, vol.13, p.139]. РНК-интерференция может использоваться для ген-специфического сайленсинга на любых стадиях развития, в том числе и для изменений свойств взрослого организма. Повышенное внимание к исследованиям РНК-интерференции связано с тем, что они позволили случайно обнаружить ранее неизвестные древние механизмы генной регуляции. Физиологическая роль этих механизмов может заключаться в изменении в локальных структурах хромосом, во влиянии на активность транскрипции, на процессинг мРНК, ее транспорт в цитоплазму и на ее стабильность.

К настоящему времени РНК-интерференция, приводящая к ген-специфическому сайленсингу, описана на различных организмах - нематоде, дрозофиле, грибах, растениях.

Известен способ изменения генетических свойств организма, основанный на РНК-интерференции с использованием для этой цели антисмысловой РНК (асРНК), которая комплементарна в антипараллельном направлении мРНК выбранного гена, синтезируется *in vitro* и вводится в организм [A. Fire, S-Q. Xu, M.K. Montgomery, S.V. Kostas, S.E. Driver, C.C. Mello, Nature, 1998, vol. 391, p. 806].

Описанный способ осуществляют следующим образом:

1. Выбирают ген, активность которого нежелательна;
2. Готовят генетическую конструкцию, в которой данный ген или соответствующая ему кДНК (последовательность, соответствующая мРНК), т.е. природная ДНК, ориентирована в противоположном направлении и находится под контролем нужного промотора. Этим обеспечивается транскрипция незначашей цепи гена. Для получения конструкций используют разнообразные векторы, которые могут содержать последовательности ДНК, важные для селекции трансформанта, для эффективной экспрессии перевернутого гена и для “правильного вписывания” конструкции в хромосомные домены;
3. На полученной конструкции *in vitro* синтезируют и вводят в организм асРНК с помощью разных методов (электропорация, инъекции, *per os*).

Существенным недостатком этого способа изменения генетических свойств организма с помощью РНК-интерференции является то, что при использовании конструкций, предназначенных для синтеза асРНК в результате перестроек может произойти реверсия, т.е. прекратится экспрессия асРНК и начнется синтез последовательности соответствующей цепи мРНК. Т.е. вместо подавления активности выбранного гена можно получить его активирование. Синтез цепи мРНК может также начаться из-за того, что в месте инсерции конструкции могут оказаться последовательности хозяина, имеющие промоторную активность в цепи, соответствующей цепи мРНК. Вероятность таких событий высока.

Наиболее демонстративно высокая вероятность реверсий подтверждена работами с трансгенными организмами. Конструкции при этом вводились с противоположной целью - добиться большей активности какого-либо гена. Однако, реверсии в результате спонтанного активирования транскрипции с противоположной цепи проводили не к увеличению активности гена, а к полному ее подавлению, т.е. к ген-специфическому сайленсингу в результате РНК-

интерференции [M.K. Montgomery, A. Fire, Trends in Genetics, 1998, vol.14, p. 255; P. Sharp, Genes & Development, 1999, vol.13, p.139].

Сущность изобретения

- 5 Предложен способ изменения генетических свойств организма путем РНК-интерференции, приводящей к ген-специфическому сайленсингу выбранного гена с помощью молекул РНК, синтезированных *in vitro*, включающий использование молекул РНК, комплементарных в параллельном направлении (пкРНК) мРНК выбранного гена, при этом пакРНК синтезируют *in vivo* или *in vitro* на искусственной
- 10 последовательности ДНК, имеющей зеркально-симметричную последовательность нуклеотидов (зеркальная инверсия) по отношению к последовательности нуклеотидов гена.

Перечень фигур

- 15 Фиг. 1 приводит данные о структуре ДНК-конструкции, содержащей зеркальную последовательность нуклеотидов относительно гена *lon* *E. coli* и предназначенной для экспрессии пакРНК, где:

- а - взаимоотношения последовательностей нуклеотидов гена *lon* и искусственной химически синтезированной последовательности ДНК, зеркально-симметричной относительно гена (+ цепи соответствуют последовательностям пакРНК *parlon* и мРНК); синтезированная ДНК в конструкции находится под контролем промотора *lac*, обеспечивающим экспрессию пакРНК *parlon*;
- 20

б - взаимоотношения между мРНК гена *lon* и пакРНК *parlon*;

- в - гены в *lux*-регулоне: промоторы *pr* и *pl* в *lux*-регулоне работают на разных цепях, гены показаны светлыми прямоугольниками; *Lon* белок деградирует продукт гена *R*, активирующий *pl* и, тем самым, препятствует работе генов, обеспечивающих люминесценцию.
- 25

Фиг. 2 показывает результаты люминесценции клеток *E. coli*, которая наблюдается при сайленсинге гена *lon* в результате экспрессии (*parlon*), где:

- 30 *Lux*-регулон *Vibrio fischeri* был введен в *lon*⁺ или *lon*⁻ клетки *E. coli*. В полученные *lon*⁺ клетки дополнительно порознь вводили также конструкцию, созданную на основе вектора *pUC12*, способную экспрессировать пакРНК *parlon* или исходную плазмиду *pUC12*, не содержащую вставки. Показана зависимость

интенсивности люминесценции суспензии клеток, определяемая с помощью люминометра ($\square V$), от оптической плотности (OD_{550}). Сайленсинг гена *lon* вызывает свечение трансформантов, содержащих конструкцию *parlon*.

Фиг. 3 представляет данные о структуре ДНК-конструкции, содержащей зеркальную последовательность нуклеотидов относительно гена *Kruppel* дрозофилы и предназначенной для экспрессии пкРНК (*Kr-par*), где:

а - взаимоотношения последовательностей нуклеотидов гена *Kr* и искусственной химически синтезированной последовательности ДНК, зеркально-симметричной относительно гена (+ цепи соответствуют последовательностям пкРНК *Kr-par* и мРНК); синтезированная ДНК в конструкции находится под контролем промотора РНК полимеразы Т7, обеспечивающим экспрессию пкРНК *Kr-par* (синтез по другой цепи конструкции в векторе pGEM-1 обеспечивается промотором РНК полимеразы SP6);

б - взаимоотношения между мРНК гена *Kr* и пкРНК *Kr-par*;

Фиг. 4 показывает фенотипы нормальной личинки дрозофилы и фенотипы *Kr*, полученных после инъекций пкРНК *Kr-par*, где:

а - фенотипы нормальной личинки дрозофилы,

б - фенотипы личинки, развившейся из эмбрионов, инъецированных РНК *Kr-par*, имеющих делеции торакальных сегментов, а также одного переднего абдоминального сегмента,

в - фенотипы личинки, развившейся из эмбрионов, инъецированных РНК *Kr-par*, имеющих делеции торакальных сегментов, а также трех передних абдоминальных сегментов.

Стрелка указывает атопически развившееся дыхальце, также характерное для фенотипа *Kr*.

Раскрытие сущности изобретения

В основу предлагаемого изобретения положена задача повышения надежности РНК-интерференции, при которой были бы невозможны реверсии, приводящие к синтезу цепи мРНК на конструкциях, исходно предназначенных для ген-специфического сайленсинга.

Предложен способ изменения генетических свойств организма путем РНК-интерференции, приводящей к ген-специфическому сайленсингу выбранного гена с

помощью молекул РНК, синтезированных *in vitro*, при этом используют молекулы РНК, комплементарные в параллельном направлении (пкРНК) мРНК выбранного гена, которые синтезируют *in vivo* или *in vitro* на искусственной последовательности ДНК, имеющей зеркально-симметричную последовательность нуклеотидов по отношению к последовательности нуклеотидов гена.

Предлагаемый способ приводит к эффективной РНК-интерференции и ген-специфическому сайленсингу и исключает синтез мРНК, т.к. в конструкциях используется негомологичная искусственная последовательность ДНК.

Предложенный способ осуществляют следующим образом:

1. Выбирают ген, активность которого нежелательна (т.е. она приводит к заболеванию или нарушает биотехнологический процесс);
2. Химически синтезируют искусственную последовательность ДНК, имеющую зеркальное чередование нуклеотидов по отношению к выбранному гену или его части;
3. Готовят генетическую конструкцию, в которой используют разнообразные векторы, содержащие синтезированную ДНК под нужным промотором и другими последовательностями, важными для эффективной экспрессии и для “правильного вписывания” конструкции в хромосомные домены;
4. Конструкцию тем или иным путем вводят в организм для синтеза пакРНК *in vivo* (трансформация), либо пакРНК синтезируют *in vitro* на конструкции и вводят в организм с помощью инъекций.

Изобретение поясняется конкретными примерами осуществления способа изменения генетических свойств организма, в которых эти изменения проявляются как изменения фенотипа, и иллюстрируется 4 фигурами.

Сведения, подтверждающие возможность осуществления изобретения

Приведенные далее примеры являются предпочтительными, предназначены лишь для подтверждения возможности осуществления изобретения и не должны стать основанием для ограничения объема притязаний Заявителя. Специалист в данной области техники без труда найдет возможности иных воплощений изобретения, которые безусловно подпадают под притязания Заявителя, отраженные в формуле изобретения, приводимой ниже.

Пример 1. РНК-интерференция в клетках *Escherichia coli* с помощью молекул РНК, комплементарных в параллельном направлении мРНК гена *lon*, синтезированных *in vivo*.

Ген *lon* выбран в качестве модели, поскольку он является одним из
5 ключевых в регуляции многих процессов в клетках *E. coli*.

Химически синтезирована искусственная последовательность ДНК длиной 95
bp (bp - пара оснований в ДНК или РНК), имеющая зеркально симметричную
последовательность нуклеотидов по отношению к соответствующей области гена *lon*.

Эта ДНК использована для создания конструкции на основе вектора pUC12, в
10 которой под контролем *lac*-промотора находится цепь, экспрессирующая пкРНК
parlon (Фиг. 1 а, б).

Полученная конструкция с помощью трансформации введена в клетки *E. coli*.

За влиянием пкРНК *parlon* на активность эндогенного гена *lon* следят
по эффекту последнего на работу *lux*-регулона, внесенного в клетки *E. coli* из клеток
15 *Vibrio fischeri*. *Lon*-протеаза является негативным регулятором *lux*-регулона, т.к. она
специфически деградирует белок *LuxR*. Последний в комплексе с автоиндуктором
запускает синтез белков, обеспечивающих люминесценцию. Промоторы *pr* и *pl* в *lux*-
регулоне работают на разных цепях, гены показаны светлыми прямоугольниками
(Фиг. 1 в). Активно работающий ген *lon* вызывает репрессию транскрипции *lux*-
20 регулона, что фенотипически проявляется в подавлении люминесценции. Напротив,
сайленсинг гена *lon* приводит к увеличению концентрации *LuxR* и, следовательно, к
активации транскрипции *lux*-регулона, что приводит к заметному усилению свечения
клеток. *Lux*-регулон в составе 16 kb *Bam*HI фрагмента ДНК *Vibrio fischeri*, был
введен в *lon*⁺ клетки *E. coli* K12 AB1157, а также в *lon*⁻ клетки *E. coli* K12 AB1899
25 (*lon*1).

В полученные *lon*⁺ клетки дополнительно порознь вводят также конструкцию,
созданную на основе вектора pUC12, способную экспрессировать пкРНК *parlon* или
исходную плазмиду pUC12, не содержащую вставки. Сайленсинг гена *lon*
определяют по возрастанию свечения клеток. Интенсивность люминесценции клеток,
30 экспрессирующих пкРНК *parlon* возрастает на несколько порядков по сравнению с
контролем, содержащем исходную плазмиду pUC12 (Фиг. 2).

При выращивании трансформантов *parlon* на твердых средах наблюдали
развитие “слизистых” колоний, что характерно для *lon*⁻ фенотипа или сайленсинга

гена *lon*.

Пример 2. Получение фенокopies *Kruppel* (Kr) при инъекциях в эмбрионы дрозофилы РНК, комплементарной мРНК в параллельном направлении, синтезированной *in vitro*.

5 Kr - гомеотический ген, активный уже в зиготе и контролирующий образование сегментов на ранней эмбриональной стадии развития дрозофилы выбран в качестве модели, позволяющей наблюдать раннее развитие в многоклеточном организме. Мутанты Kr имеют делеции прилежащих торакальных и передних абдоминальных сегментов. Фенотипически это заметно сразу после развития кутикулы и вылупливания личинок. Мутанты Kr имеют делеции торакальных сегментов и от одного до нескольких абдоминальных сегментов, а иногда также атопически развившиеся дыхальца в передней части тела личинки [E. Weischaus, C. Nusslein-Volhard, H. Kluding, Development, 1984, vol. 104, p. 172]. Таким образом, мутанты *Kruppel* имеют уникальный фенотип, проявляющийся уже через сутки развития эмбрионов дрозофилы, что удобно для изучения влияния РНК на фенотип. 10 Дополнительным аргументом с пользой выбора данной модели было то обстоятельство, что влияние инъекций антисмысловой РНК Kr было проведено ранее [U.B. Rosenberg, A. Preiss, E. Seifert, H. Jackle, D.C. Knippe, Nature, 1985, vol. 313, p. 703].

20 Химически синтезируют искусственную последовательность ДНК длиной 160 bp, имеющую симметричную последовательность нуклеотидов по области гена Kr (Фиг. 3 а, б). Следует подчеркнуть, что антисмысловые РНК синтезируют на незначашей цепи того же самого гена, тогда как пкРНК может быть синтезирована только на гетерологичной последовательности ДНК, имеющей зеркально-симметричное чередование. 25

Синтезированную ДНК используют для получения конструкции в векторе pGEM-1, позволяющим с промотора РНК полимеразы T7 вести синтез пкРНК. пкРНК была названа Kr-pag, т.к. она комплементарна мРНК гена Kr в параллельном направлении.

30 Эмбрионы линии Oregon RC инъекцируют препаратами пкРНК в область плазмы заднего полюса на стадии синцития и инкубируют под водой при 25°C в течение 18-24 часов. Затем готовят препараты кутикулы и наблюдают развитие сегментов личинок под фазово-контрастным микроскопом.

Обнаружено развитие личинок имеющих характерный K_r-фенотип. В контрольных экспериментах, после инъекций РНК, синтезированной на противоположной цепи той же конструкции с помощью SP6 РНК полимеразы, наблюдают только развитие нормальных личинок.

5 Фиг. 4 представляет нормальную личинку (а), а также две личинки, полученные после инъекций препарата K_r-par (б, в). Последние имеют делеции торакальных сегментов и одного или трех брюшных сегментов и эктопически развитое дыхальце в передней части тела личинки, что характерно для фенотипа K_r. Частота появления фенкопий K_r после инъекций РНК K_r-par примерно
10 соответствует таковой после инъекций соответствующей acРНК [U.B. Rosenberg, A. Preiss, E. Seifert, H. Jackle, D.C. Knippe, Nature, 1985, vol. 313, p. 703]. Показано, что в многоклеточном организме, воздействуя пкРНК на экспрессию ключевого гена дифференцировки, получают направленное изменение генетических свойств организма.

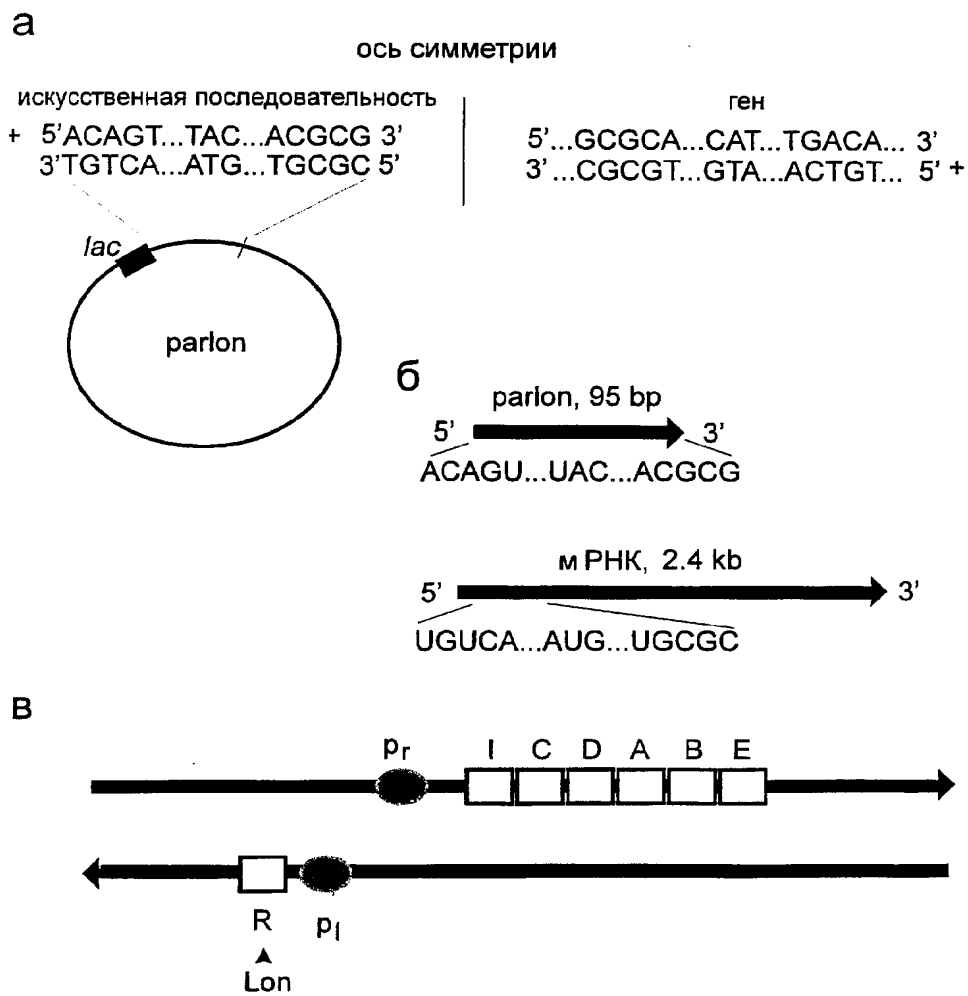
15 Таким образом, обнаружено влияние зеркальных инверсий нуклеотидных последовательностей, тем или иным путем введенных в организм, на его фенотип. Основное преимущество предлагаемого способа состоит в том, что зеркальные последовательности способны обеспечить синтез пкРНК и РНК-интерференцию, но, будучи гетерологичными последовательностями, не могут синтезировать
20 соответствующую мРНК. Поэтому при использовании этого подхода ("палиндромный подход"), в отличие от традиционного способа, использующего acРНК ("антисмысловой подход"), не может произойти реверсия и начаться синтез цепи мРНК.

Изобретением предложен общий подход к изменению генетических свойств
25 организма, основанный на биологических свойствах зеркальных инверсий нуклеотидных последовательностей и реализующийся в РНК-интерференции, приводящей к ген-специфическому сайленсингу. Предлагаемый способ, основанный на обнаруженной высокой и избирательной биологической активности транскриптов с зеркальных инверсий нуклеотидных последовательностей, приводит к изменению
30 фенотипа и может быть использован для целей генотерапии в медицине, а также в сельском хозяйстве и в промышленной биотехнологии для ген-специфического сайленсинга тех генов, экспрессия которых способствует развитию тех или иных заболеваний или нарушает процесс наработки необходимого продукта.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

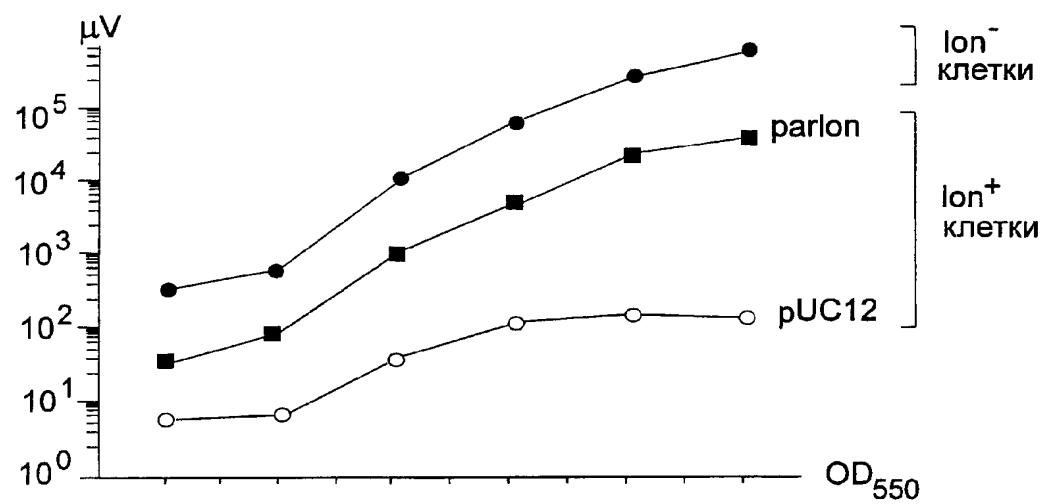
Способ изменения генетических свойств организма путем РНК-интерференции, приводящей к ген-специфическому сайленсингу выбранного гена с помощью молекул РНК, синтезированных *in vitro*, отличающийся тем, что используют молекулы РНК, комплементарные в параллельном направлении (пкРНК) мРНК выбранного гена, при этом пакРНК синтезируют *in vivo* или *in vitro* на искусственной последовательности ДНК, имеющей зеркально-симметричную последовательность нуклеотидов (зеркальная инверсия) по отношению к последовательности нуклеотидов гена.

1 / 4



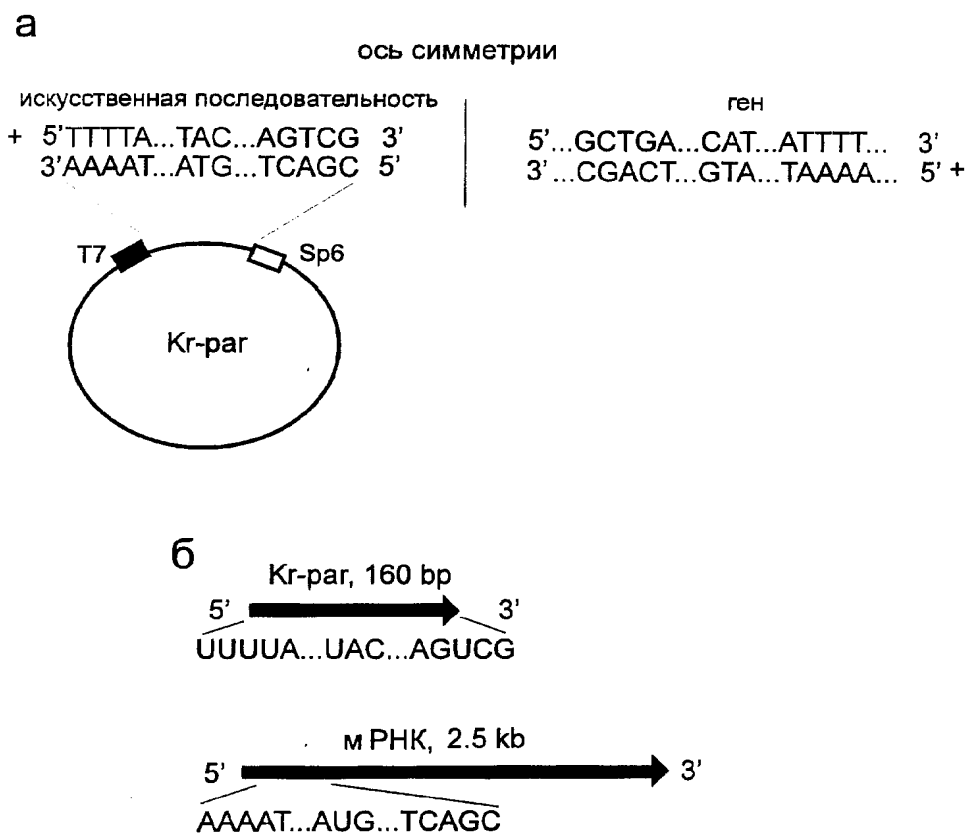
Фиг. 1

2/4



Фиг. 2

3/4



Фиг. 3

ФИГ. 4

